

サービスの特性に基づくコンピュータネットワーク 構成法に関する研究

著者	武田 利浩
号	14
学位授与番号	437
URL	http://hdl.handle.net/10097/42622

氏名 (本籍地)	武田 利浩
学位の種類	博士 (情報科学)
学位記番号	情博第 437 号
学位授与年月日	平成 21 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科 (博士課程) 情報基礎科学専攻
学位論文題目	サービスの特性に基づくコンピュータネットワーク構成法に関する研究
論文審査委員	(主査) 東北大学教授 堀口 進 東北大学教授 白鳥 則郎 東北大学教授 木下 哲男 東北大学准教授 姜 曉鴻

論文内容の要旨

第 1 章 緒言

ユーザに求められるサービスは、初期のコンピュータネットワークの提供する単純なデータ転送サービスやデバイスの共有サービスから、マルチメディア通信サービス、高速並列計算サービス、分散情報探索サービスへと広がりを見せている。それらの要求に応えるために、サービスの特性に基づくコンピュータネットワークが開発され、ユーザの要求にきめ細かに応えられるようになってきている。それに伴い、利用可能なネットワーク構成技術や機器は、非常に多岐に渡り、日々進化するため、実際にコンピュータネットワークを構成する際には、さまざまな構成技術や個別の機器の専門的な知識や経験が必要となる。ユーザの要求やネットワークの構成技術をコンピュータで扱う事のできる形式で、記述する事ができれば、サービスの特性に基づくコンピュータネットワークの構成を支援することができると考えられる。

サービスの特性に基づくコンピュータネットワーク構成法を実現することが本研究の目的である。この目的を実現するために、まず、サービスの特性に基づくコンピュータネットワークの開発を行う。ユーザの要求は、多様であるので、様々なコンピュータネットワーク構成技術が必要である。さらに、同じ要求に対して、複数の構成技術があっても良い。具体的には、マルチメディア通信コンピュータネットワーク、高速計算並列コンピュータネットワークと並列処理性能、分散情報検索のための探索ネットワークの開発を行う。

次に、サービスの特性に基づくコンピュータネットワーク構成法の開発を行う。具体的には、ネットワーク記述言語の定義とそれをもちいた、サービスの特性に基づくコンピュータネットワークの設計法の提案を行う。

第 2 章 サービスの特性に基づくコンピュータネットワーク

機器の共有やファイルの交換、遠隔ログインなどを目的として誕生したコンピュータネットワークであるが、大容量のファイルサーバの利用や、音声や動画データへと、その利用が拡大し、マルチメディア通信サービスは、コンピュータネットワークにとって、必須のサービスとなっている。マルチメディア通信では、大容量のファイルサーバに対応するための高スループットと、音声や動画の伝送のための低遅延が同時に求められる。

マルチメディア通信を LAN 上で実現する場合は、比較的自由的な構成法をとる事が可能であるが、

マルチメディア通信を LAN 上で実現する場合は、比較的自由的な構成法をとる事が可能であるが、広域ネットワークで実現する場合は、インターネットを構成する中心的技術である、TCP/IP やイーサネットとの親和性が重要になる。

科学技術計算を高速に処理するための一つの方法は、対象とする問題に内包されている並列性を巧みに利用することである。そのため、従来から各種の並列アルゴリズムやそれらのプロセッサ・アレイやマルチプロセッサへの実装が提案されている。種々の並列アルゴリズムが研究される一方、VLSI 技術の著しい発展により超並列計算機が新しい計算サーバとして登場している。商用の超並列計算機の多くは、4 隣接結合や 8 隣接結合のような構造の単純な相互結合網を採用している。

分散管理された WWW (World-Wide Web) の情報に対する情報検索の研究は、数多く行われている。このなかで、従来の情報探索ネットワークを利用した検索方式では、ホストへの静的な経路指定などしかできない。そのため、新たに追加されたホスト上の情報検索やネットワークの障害などには対応できないという欠点がある。これらの問題を解決するために、情報探索ネットワークの自己組織的な構成が有効と考えられる。

第3章 マルチメディア通信のためのコンピュータネットワーク

マルチメディア通信を目的とした、スループットと伝達遅延特性の良さを併せ持つ高速 LAN プロトコルとして、自己トークン方式による高速リング LAN を提案した。本方式は、マルチプル・トークン方式とレジスタ・インサージョン方式を併用することにより、複数のステーションが平行してパケットを送信できるようにし、いわゆるバンド幅の空間再利用(spatial reuse)を実現する。各ステーションは、自己トークンとよばれる複数のトークンと、レジスタ・インサージョンのためのレジスタを備える。解析とシミュレーションの結果から、本プロトコルがトークン方式から導かれるチャネルアクセスに対する公正さと、レジスタ・インサージョン方式から導かれるスループットと伝達遅延特性の良さを合わせ持つプロトコルであることを明らかにした。

ついで、広域マルチメディア通信のためのコンピュータネットワークとして、イーサネットのブロードキャストレス化を検討した。具体的な仕組みとして、ブロードキャストを集中処理するプロキシサーバ、プロキシサーバにブロードキャストを集めるためのデフォルトポートを持つブリッジによる方法を提案している。この方法は、階層化により、大規模化が可能であり、管理しやすいネットワーク構造となっている。基本機能について UNIX PC 上で実装し、動作の確認を行った。

第4章 高速並列計算のためのコンピュータネットワークと並列処理性能

高速並列計算のために、8 隣接格子型並列コンピュータネットワーク上での、基数 4 の並列 FFT アルゴリズム、並列 2 次元 FFT アルゴリズム、ニューラルネットワークの学習法の一つである誤差逆伝播法の並列処理アルゴリズムの提案と並列処理性能を評価した。これらの並列処理アルゴリズムは、FFT や誤差逆伝播法の計算に内在する並列性を利用している。計算の各ステップにおけるデータの組み合わせの変化パターンと 8 隣接格子網の特徴を活かしたアルゴリズムとなっている。

基数 4 の並列 FFT については、 $N \leq P$ と $N > P$ の場合についてアルゴリズムを考察した。 $N \leq P$ の場合には 1 つのデータ割付法とアルゴリズム 1 を提案した。 $N > P$ の場合は 2 つのデータ割付法（相似割付法と重畳割付法）とアルゴリズムを提案した。相似割付法にはアルゴリズム 2 を、重畳割付法にはアルゴリズム 3 を定義した。次いで、PE の通信能力を考慮しながら各アルゴリズムの処理時間を算出し、理論値と実測値を示した。処理時間の比較から、最小の処理時間は、1 つの PE に 4 つのデータを割付けたアルゴリズム 3 によって得られる。アルゴリズム 3 は、 $N \leq P$ の場合でも、 $N=P=4$ の場合を除いて、アルゴリズム 1

よりも高速であることを示した。

BP モデルの並列処理では、プロセッサ・アレイをグループ化し、そのグループ内で結合荷重を互いに分散して保持し、処理を互いに分担することで、通信のオーバーヘッドを抑えている。BP モデルの処理に多きなウェイトを占める積和演算に要するステップ数は、3 ポート 通信のとき $(p-1)$ である。これは、8 隣接プロセッサ・アレイ上で、双方向交互 通信という条件の下で行われる 1 対 P のブロードキャストに要する 通信ステップの下界に等しい。この効率のよい積和のアルゴリズムによって、L 層の BP モデルの 1 回の学習における 伝送時間と演算時間の時間計算量をそれぞれ $O(NLp/P)$ と $O(N^2L/P)$ に抑えることが可能となっている。また、トーラス結合を利用しているため、通信、演算のいずれにおいても例外処理を必要とせず、全ての PE が同時に、同じ処理を行うことが出来、高い並列性を有する。さらに、隣接した 8 つのプロセッサ間で 伝送できる商用マシン MasPar 社の MP-1 上に容易にインプリメントすることが可能である。アルゴリズムを MP-1 上に実装して、処理時間の計測を行った。

第 5 章 分散情報検索のための情報探索ネットワーク

分散した情報から必要な情報を探し出すために、モバイルエージェントによる分散情報の検索方式を提案し、検証を行っている。提案方法では、分散情報の自己管理方式とマイグレーション検索を用いた自己組織的な情報探索ネットワークを基盤としている。分散情報の自己管理は、各 WWW サーバ自身が自ホスト内の WWW 情報のみを管理し、情報カタログを作成し、WWW 情報に対する検索機能を備える情報管理方式である。情報探索ネットワークは、分散情報を自己管理する WWW サーバ間に構築される仮想的なネットワークである。マイグレーション検索は、モバイルエージェントである情報探索エージェントが情報探索ネットワーク上の各 WWW サーバを移動しながら、各サーバの情報検索を行い、その結果を収集する検索方式である。情報検索の効率の向上のために、過去の検索によるヒット率に相当する検索期待値による荷重付き情報探索ネットワークを導入している。システムを実装し、実験により有効性を確認した。

第 6 章 サービスの特性に基づくコンピュータネットワーク構成法

ユーザがコンピュータネットワークに求めるサービスは、多様である。そのため、コンピュータネットワークを構成するための技術や機器の研究や開発が盛んに行われ、多様な技術や機器が利用可能になっている。ここで、ユーザの求めるコンピュータネットワークを構成するために、どのようにして適切な技術や機器の選択し、設計するのが重要になってくる。その解決法として、ネットワーク記述言語によるネットワーク設計支援システムを提案した。

ネットワーク記述言語の表記法として XML(Extensible Markup Language)を採用する。ネットワーク記述言語では、ネットワークを $\langle \text{Node} \rangle$, $\langle \text{Agent} \rangle$, $\langle \text{Link} \rangle$, $\langle \text{Flow} \rangle$, $\langle \text{Network} \rangle$ の 5 つの要素で記述する。また、その記述の対象は、要求仕様、抽象設計、実装設計、構成法、構成要素の 5 つであり、それぞれの記述を、要求記述、抽象記述、実装記述、構成法記述、構成要素記述と呼ぶ。

本文で提案したマルチメディア通信のためのコンピュータネットワークを例にとり、提案する設計方式をサービスの特性に基づくコンピュータネットワーク設計の具体的な設計例を示した。さらに、ネットワークライフサイクル管理の方法を述べた。

第 7 章 結言

本文では、サービスの特性に基づくコンピュータネットワーク構成法の提案を行った。

まず、サービスの特性に基づくコンピュータネットワークを開発した。マルチメディア通信のための自己トークン方式による高速リング LAN を、広域マルチメディア通信のためのノンブロードキャストブリッジネットワークを提案、高速並列計算のために、8 隣接格子型並列コンピュータネットワーク上での、基

数4の並列FFTアルゴリズム，並列2次元FFTアルゴリズム，ニューラルネットワークの学習法の一つである誤差逆伝播法の並列処理アルゴリズムを提案し，並列処理性能を評価した．

ついで，サービスの特性に基づくコンピュータネットワーク構成法の提案を行った．ネットワーク記述言語の定義とそれを用いたサービスの特性に基づくコンピュータネットワーク構成法の提案を行い，本文で提案したマルチメディア通信のためのコンピュータネットワーク構成法を用いた設計例を示した．

今後の課題としては，本文で提案したサービスの特性に基づくコンピュータネットワーク構成法を実用化するために，構成法記述や構成要素記述を増やす事が上げられる．これらの記述を増やし，リポジトリに登録し，広く共有できるようにする必要がある．さらに，ネットワークライフサイクル全体を統一的に扱える，ネットワーク記述言語に基づく管理システムの実現が望まれる．

論文審査結果の要旨

コンピュータネットワークは幅広い分野で利用され、種々のサービスを提供するようになり、利用者の要求を満足するネットワークを系統的に設計できる方式が必要とされている。著者は、利用者の要求やサービスの特性に基づいて各種コンピュータネットワーク構成法について検討し、マルチメディア通信のための自己トークンリングやノンブロードキャスト・ブリッジなどのネットワークを考案し、サービスの特性に基づいたコンピュータネットワーク構成法を明らかにした。本論文はこれら成果を取りまとめたもので、全文7章よりなる。

第1章は緒言である。

第2章では、コンピュータネットワークとサービスについて検討し、マルチメディア通信、高性能並列計算や分散情報検索などのコンピュータネットワークに対する基礎的検討をしている。

第3章では、マルチメディア通信における均一アクセス機会を保障する自己トークンリング方式を考案し、待ち時間解析によりその有用性を示した。また、広域マルチメディア通信で問題となるブロードキャストを抑えるノンブロードキャスト・ブリッジネットワークやその階層化方式を提案し、実装実験によりその有用性を明らかにした。これは実用上重要な成果である。

第4章では、高速並列計算のためのコンピュータネットワークとして、8隣接格子型結合を考え、再帰分割型並列FFTアルゴリズムや並列計算誤差逆伝播法を新たに考案し、データ転送と並列処理を効率よく実行できることを示した。これは高速計算に有用な成果である。

第5章では、インターネット上に分散する膨大なデータからの情報検索に対して、新たに追加されるサーバや故障サーバを自動的に追加および回避できる情報探索ネットワークを自己組織的に構成する方式を考案した。実装実験によりマイグレーション検索や情報探索ネットワークの自己組織化が可能であることを示した。

第6章では、利用者の要求やサービスの特性を考慮したコンピュータネットワーク設計方式を考案した。本設計方式は、ネットワーク記述言語で表記された要求記述から抽象記述を介してネットワーク実装記述へ自動変換できる方式であり、今後のネットワーク設計支援の基礎となる成果である。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、サービスの特性に基づいた新しいコンピュータネットワーク構成法を考案するとともに、ネットワーク要求記述から自動的にネットワーク実装記述を導出する設計方式を提案し、その有効性を実証したものであり、ネットワーク工学および情報基礎科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。